

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-167746

(43) 公開日 平成8年(1996)6月25日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 L 41/083

H 0 1 L 41/ 08

Q

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 5 頁)

(21) 出願番号 特願平6-310278

(22) 出願日 平成6年(1994)12月14日

(71) 出願人 000006633

京セラ株式会社

京都府京都市山科区東野北井ノ上町5番地の22

(72) 発明者 福岡 修一

鹿児島県国分市山下町1番4号 京セラ株式会社総合研究所内

(72) 発明者 内 一隆

鹿児島県国分市山下町1番4号 京セラ株式会社総合研究所内

(72) 発明者 鬼塚 克彦

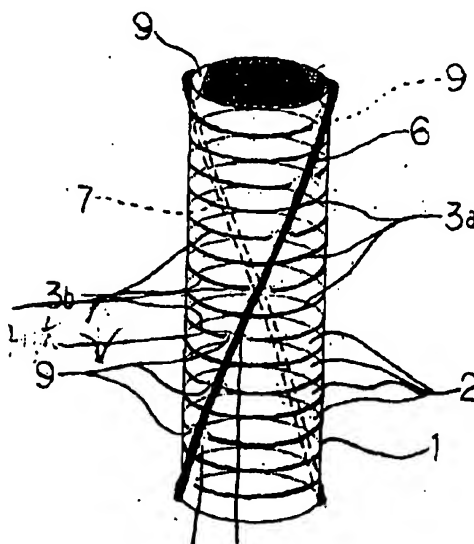
鹿児島県国分市山下町1番4号 京セラ株式会社総合研究所内

(54) 【発明の名称】 積層型圧電アクチュエータ

(57) 【要約】

【目的】駆動時における応力集中を最小限に抑えることで、破壊原因となるクラックの発生を防止し、繰り返し駆動における寿命が長い積層型圧電アクチュエータを提供する。

【構成】複数の圧電セラミック層と複数の内部電極層とを交互に積層して柱状積層体を形成するとともに、圧電セラミック層を挟持する内部電極層を第1内部電極層および第2内部電極層とから構成し、第1内部電極層同士を電気的に接続する第1外部電極および第2内部電極層同士を電気的に接続する第2外部電極を柱状積層体の外周面にそれぞれ螺旋状に形成してなるものである。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】複数の圧電セラミック層と複数の内部電極層とを交互に積層して柱状積層体を形成するとともに、前記圧電セラミック層を挟持する内部電極層を第1内部電極層および第2内部電極層とから構成し、前記第1内部電極層同士を電気的に接続する第1外部電極および前記第2内部電極層同士を電気的に接続する第2外部電極を前記柱状積層体の外周面にそれぞれ螺旋状に形成してなることを特徴とする積層型圧電アクチュエータ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、積層型圧電アクチュエータに関するもので、例えば、X-Yステージ等の精密位置制御や高速位置制御等に用いられる積層型圧電アクチュエータに関するものである。

## 【0002】

【従来技術】従来から、積層型圧電アクチュエータの構造として、積層型セラミックスコンデンサと類似の内部電極を部分電極としたものが知られている。図5はこのような従来の積層型圧電アクチュエータの斜視図を示すもので、符号1は柱状積層体を示している。この柱状積層体1は、複数の圧電セラミック層2と複数の内部電極層とを交互に積層して構成されており、圧電セラミック層2を挟持する内部電極層は第1内部電極層3aおよび第2内部電極層3bとから構成されている。これらの第1内部電極層3aおよび第2内部電極層3bは柱状積層体1の軸方向に交互に形成されている。

【0003】そして、第1内部電極層3a同士は、柱状積層体1の外周面に形成された第1外部電極6により電気的に接続され、また、第2内部電極層3b同士は、柱状積層体1の外周面に形成された第2外部電極7により電気的に接続されている。また、第1内部電極層3aおよび第2内部電極層3bは圧電セラミック層2の一部の表面には形成されておらず、無電極部9とされている。これらの第1内部電極層3aと第2内部電極層3bとが対向する部分（活性部分A）と対向しない部分（不活性部分B）が形成されており、活性部分Aが内部電極3a、3bに電圧を印加した場合に変位する。第1外部電極6および第2外部電極7は、柱状積層体1の積層方向にかつ直線的に形成されている。

【0004】このような積層型圧電アクチュエータでは、内部電極3a、3bと外部電極6、7とを一层毎に接続できることから、電極形成工程が極めて少なく製造コストを安くできる特徴を有している。

## 【0005】

【発明が解決しようとする問題点】しかしながら、上記のような積層型圧電アクチュエータでは、図6に示す如く、電圧印加した場合には、活性部分Aは変位するが、不活性部分Bは変位が発生せず、活性部分Aの変位を不活性部分Bが抑制するため、電圧印加を繰り返すと機械

的なたわみが生じ応力集中が発生し破壊し易いという欠点があった。

【0006】また、従来の積層型圧電アクチュエータでは、変位方向と外部電極6、7の形成方向が一致しているため、大きな変位を得るため積層数を増やすと、柱状積層体1の中央部から積層方向の両端部になるに従い応力集中が著しく大きくなり、この両端部が剥離等破壊し易いという問題があった。このため、積層数が制限され、大きな変位が得られ難いという問題があった。

10 【0007】本発明は、かかる従来の問題点に鑑み、駆動時において発生する応力集中を最小限に抑制することにより、破壊原因となるクラックの発生を防止し、さらに駆動時のわずかな引っ張り力や曲げモーメントに対しても破壊に至らない、寿命の長い積層型圧電アクチュエータを提供することを目的とする。

## 【0008】

【問題を解決するための手段】本発明の積層型圧電アクチュエータは、複数の圧電セラミック層と複数の内部電極層とを交互に積層して柱状積層体を形成するとともに、前記圧電セラミック層を挟持する内部電極層を第1内部電極層および第2内部電極層とから構成し、前記第1内部電極層同士を電気的に接続する第1外部電極および前記第2内部電極層同士を電気的に接続する第2外部電極を前記柱状積層体の外周面にそれぞれ螺旋状に形成してなるものである。

## 【0009】

【作用】本発明の積層型圧電アクチュエータでは、内部電極を電気的に接続する外部電極が柱状積層体の外周面に螺旋状に形成されているため、積層型圧電アクチュエータの変位方向と外部電極との形成方向が異なることになり、また、内部電極の一端部が柱状積層体の外周面に露呈しない無電極部が柱状積層体の外周面に一層毎螺旋状（積層方向に対して非平行）に形成されることになり、発生応力を分散させることができ、従来構造のように一箇所に大きな応力集中をまねくことがない。

## 【0010】

【実施例】本発明の積層型圧電アクチュエータを図面を用いて詳細に説明する。図1は、本発明の内柱状積層型圧電アクチュエータの一実施例を示すもので、符号1は柱状積層体を示している。この柱状積層体1は、複数の圧電セラミック層2と複数の内部電極層とを交互に積層して構成されており、圧電セラミック層2を挟持する内部電極層は第1内部電極層3aおよび第2内部電極層3bとから構成されている。これらの第1内部電極層3aおよび第2内部電極層3bは柱状積層体1の軸方向に交互に形成されている。

【0011】圧電セラミック層2は、例えば、PZT系のセラミックスからなり、内部電極層3a、3bは、例えば、銀により形成されている。

50 【0012】そして、第1内部電極層3a同士は、柱状

積層体1の外周面に形成された第1外部電極6により電気的に接続され、また、第2内部電極層3b同士は、柱状積層体1の外周面に形成された第2外部電極7により電気的に接続されている。これらの第1外部電極6および第2外部電極7は、柱状積層体1の外周面に螺旋状（積層方向に対して非平行）に形成されている。

【0013】即ち、第1内部電極層3aおよび第2内部電極層3bは圧電セラミック層2の一部の表面には形成されておらず、無電極部9とされており、この無電極部9が螺旋状に形成されることになる。言い換えれば、内部電極3a、3bと外部電極6、7との接続部が、柱状積層体1の外周面に少しずつ位置を変えて螺旋状（積層方向に対して非平行）に形成されている。

【0014】このような積層型圧電アクチュエータは、圧電セラミックス層2の片面に、その端面部に露呈しない無電極部9と、銀電極材料を焼付けて内部電極層3a、3bを形成し、その後、無電極部9を1層毎螺旋状に各々180度回転するように、ガラスペースト層を介して圧電セラミックス層2を積層し、ガラスが溶融する温度で加圧加熱処理を施し、柱状積層体1を形成する。

【0015】そして、一層毎に内部電極3a、3bが露呈した柱状積層体1の外周面に、各々導電性エポキシ系ペーストを螺旋状に塗布して加熱処理し、内部電極3a、3bを一層毎電気的に並列接続する外部電極6、7を形成し、この後、分極処理を施すことにより本発明の積層型圧電アクチュエータが得られる。

【0016】以上のように構成された積層型圧電アクチュエータでは、内部電極3a、3bを電気的に接続する外部電極6、7が柱状積層体1の外周面に螺旋状に形成されているため、内部電極3a、3bの一端部が柱状積層体1の外周面に露呈しない無電極部9が柱状積層体1の外周面に一層毎螺旋状に形成されることになり、積層型圧電アクチュエータの変位方向と外部電極6、7との形成方向が異なることになり、発生応力を分散させることができ、従来構造のように一箇所に大きな応力集中をまねくことがない。

【0017】図2に、本発明の積層型圧電アクチュエータに電圧を印加した時に生じる変位の模式図を示す。この図2からも理解されるように、図6に示す従来例よりも応力が集中せず、分散していることが判る。

【0018】また、圧電セラミック層2間を、ガラスペーストにより全面接合する事から、駆動時に発生する弱い引張り力や曲げモーメントに対しても破断する事が無く信頼性が飛躍的に向上する。

【0019】図3に、図1に示した本発明の積層型圧電アクチュエータと、図5に示した従来の積層型圧電アクチュエータの積層枚数に対する最大主応力を有限要素法を用いて解析した結果を示す。この図3によれば、従来のアクチュエータでは、積層枚数を多くすればする程駆動時の最大主応力が著しく大きくなり破断しやすくなる

のに対し、本発明のアクチュエータでは、積層枚数を増やしても最大主応力の増加が非常に少なく、破断しにくくなり寿命の長い積層型圧電アクチュエータが得られることが判る。即ち、図2に示したように、機械的たわみの状態を変え小さくすることで、破壊源となる応力集中も小さくすることができる。

【0020】尚、本発明の積層型圧電アクチュエータからなる複数のユニットを、軸方向に積層し、これらのユニットを接触界面の全面において接着固定しても良い。

10 【0021】本発明者等は本発明の効果を確認すべく実験を行った。

#### 【0022】実験例1

まず、チタン酸ジルコン酸鉛 $Pb(ZrTi)O_3$ 系からなる圧電セラミックスを直径18mm、板厚0.35mmの円盤状に作製し、その片面に端面部に露呈しない無電極部と、銀電極材料を焼付けて内部電極を形成した。その後、無電極部を1層から140層まで1層毎螺旋状に各々180度回転するように、ガラスペースト層を介して圧電セラミックスを積層し、ガラスが溶融する温度550℃で約20分間、加圧加熱処理を施し140層の柱状積層体を得た。

【0023】一層毎に内部電極が露呈した柱状積層体の外周面に、各々導電性エポキシ系ペーストを塗布し、180℃1時間の条件で硬化し内部電極を一層毎電気的に並列接続する外部電極を形成し、この後、分極処理を施した。

【0024】そして、得られた積層型圧電アクチュエータの軸方向に10kPaの与圧を加え、DC300Vの電圧を印加すると48μmの変位が得られた。前記条件下において、0~300Vの周波数20Hzの三角波で連続駆動した結果、10<sup>8</sup>回においても発生変位の特性劣化は認められなかった。

【0025】これに対して、上述した圧電セラミックス層を用いて、図1に示す従来構造の140層の積層型圧電アクチュエータを作製した。この従来の積層型圧電アクチュエータを用いて、上記と同様に実験を行った。DC300Vの電圧印加に対しては48μmの変位が得られたものの、連続駆動においては約10<sup>4</sup>~10<sup>6</sup>回で変位が急激に低下し破壊に至った。

40 【0026】従って、本実施例では、従来構造に比べ連続駆動に対する信頼性が大きく改善されていることがわかる。

#### 【0027】実験例2

チタン酸ジルコン酸鉛 $Pb(ZrTi)O_3$ 系からなる圧電セラミックスを10mm角、板厚0.35mmの角盤状に作製し、その片面に端面部に露呈しない無電極部と、銀電極を焼付けて内部電極を形成した。無電極部は一層毎に螺旋状に、即ち、積層体側面における対角線上に形成されるように各層毎その位置はずらしてあり、対向する側面にも同様な無電極部が一層毎螺旋状に形成

されている。

【0028】このような構造を有する70層の柱状積層体を作製し、一層毎に内部電極が露呈した部分に螺旋状に外部電極を形成し、内部電極を一層毎電氣的に並列接続した。このような70層の積層型圧電アクチュエータを2個作製し、これらを軸方向に2個ガラスにより接合し、さらに2個の積層型圧電アクチュエータの外部電極を電氣的に接続し、その後、分極処理を施した。

【0029】この状態の説明図を図4に示す。この図4において、符号13は1ユニットの積層型圧電アクチュエータを示しており、これらの積層型圧電アクチュエータ13はガラスにより接合されている。

【0030】得られた積層型圧電アクチュエータの軸方向に10kPaの与圧を加え、DC300Vの電圧を印加すると47 $\mu$ mの変位が得られた。前記条件下において、0~300Vの周波数20Hzの三角波で連続駆動した結果、10<sup>8</sup>回においても発生変位の特性劣化は認められなかった。

【0031】

【発明の効果】以上説明したように本発明は、内部電極を電氣的に接続する外部電極が柱状積層体の外周面に螺旋状に形成されているため、積層型圧電アクチュエータの変位方向と外部電極との形成方向が異なることになり、また、内部電極の一端部が柱状積層体の外周面に露呈しない無電極部が柱状積層体の外周面に一層毎螺旋状に形成されることになり、発生応力を分散させることができ、従来構造のように一箇所に大きな応力集中をまね

くことがなく、駆動時に発生する応力集中を最小限に抑制することができ、繰り返し駆動時の破壊現象を大幅に改善できる。それ故、信頼性の高い積層型圧電アクチュエータを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の円柱状積層型圧電アクチュエータを説明するための斜視図である。

【図2】図1の円柱状積層型圧電アクチュエータに電圧を印加した時に生じる変位の模式図である。

【図3】本発明の積層型圧電アクチュエータと従来の積層型圧電アクチュエータについて、積層数に対する最大主応力の関係を示すグラフである。

【図4】本発明の他の実施例にかかる四角柱状積層型圧電アクチュエータを説明するための斜視図である。

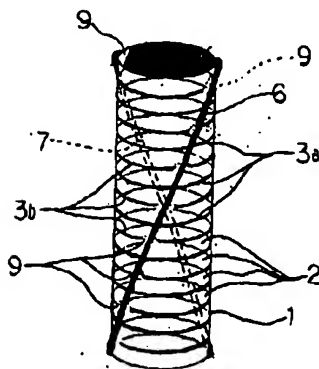
【図5】従来の円柱状積層型圧電アクチュエータを説明するための斜視図である。

【図6】図5の円柱状積層型圧電アクチュエータに電圧を印加した時に生じる変位の模式図である。

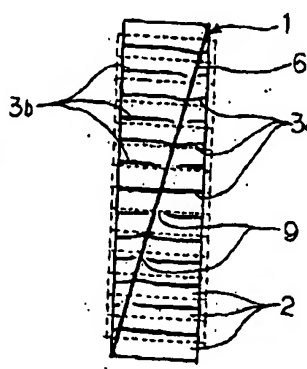
【符号の説明】

- 1・・・柱状積層体
- 2・・・圧電セラミック層
- 3a・・・第1内部電極層
- 3b・・・第2内部電極層
- 6, 7・・・外部電極
- 9・・・無電極部
- 13・・・積層型圧電アクチュエータ

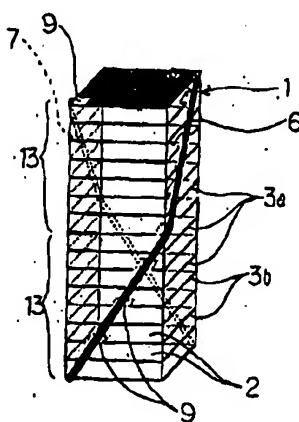
【図1】



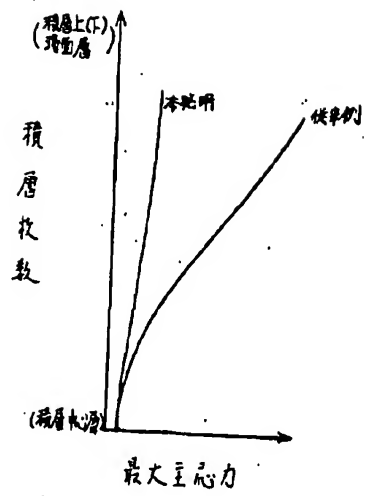
【図2】



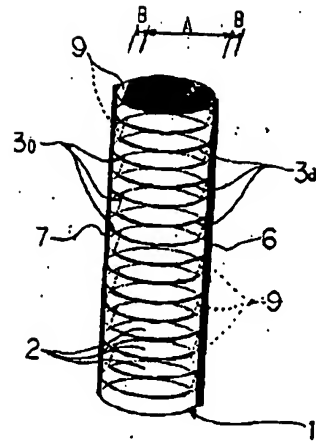
【図4】



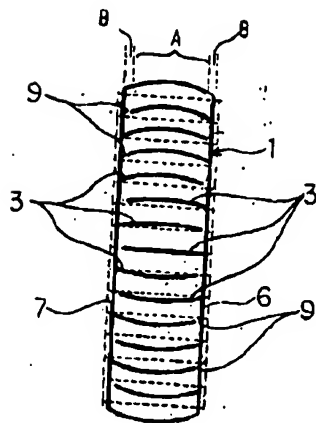
【図3】



【図5】



【図6】



**IN THE CLAIMS**

Claims 1-38 (canceled)

39. (new) A piezoceramic multilayer actuator comprising alternating internal electrodes led to the surface of the actuator and inactive regions assigned to them, the internal electrodes of the same polarity being connected by their contact surfaces to form a parallel circuit to corresponding external electrodes, said external electrodes being arranged on opposing sides of the actuator, wherein contact surfaces, and therefore the inactive regions assigned to them of one or a predetermined number of internal electrodes of the same polarity, arranged above one another in the same direction, are arranged offset to the another by a predetermined angle of the value  $\alpha$  with respect to the contact surfaces, and therefore the inactive regions assigned to these, of the preceding internal electrode or a predetermined number of preceding same-internal electrodes of the same alignment; wherein  $\alpha$  is calculated according to the formula

$$\alpha = \{(h/d) \cdot \arcsin (L/R)\}$$

wherein H is the predetermined height;

d is the total thickness of the piezoceramic layer, the green film and the electrode layer;

and R is the radius of the multilayer actuator.

40. (new) A piezoceramic multilayer actuator according to claim 39, wherein the offset is of such a size, as a multiple of the predetermined angle according to a predetermined height, and therefore a predetermined number of layers, comprising a layer of piezoceramic material with internal electrodes located thereon, and wherein at least the contact surfaces of the first and the last of the internal electrodes of the same polarity in this range no longer overlap.

41. (new) A piezoceramic multilayer actuator according to claim 39, wherein offset, as a multiple of the predetermined angle, according to a region of a predetermined height and therefore of a predetermined number of layers, comprising a layer of piezoceramic material with an internal electrodes located thereon, is so large that the inactive regions of the first and the last of the internal electrodes of the same polarity in this region no longer overlap.

42. (new) A piezoceramic multilayer actuator according to claim 39, wherein offset is determined in a region of from about 0.5 mm to about 3 mm, corresponding to some 5 to 30

layers, which in each case consist of the piezoceramic material and the internal electrode located thereon.

43. (new) A piezoceramic multilayer actuator according to claim 42, wherein the offset is determined in a region of from about 1 mm to about 1.5 mm, corresponding to at least 10 to 15 layers.

44. (new) A piezoceramic multilayer actuator according to claim 39, wherein an offset is provided several times in succession in a multilayer actuator, depending on its size.

45. (new) A piezoceramic multilayer actuator according to claim 44, wherein the offset is reversed in the opposite direction in each case after the completion of one region or several regions, so that a wave-shaped run of the offsets is produced.

46. (new) A piezoceramic multilayer actuator according to claim 39, wherein the actuator has a circular cross-section.

47. (new) A piezoceramic multilayer actuator according to claim 46, wherein the external electrodes have a helical run at the connection of the contact surfaces of internal electrodes with the same polarity with a constant running offset of the contact surfaces.

48. (new) A piezoceramic multilayer actuator according to claim 39, wherein the cross-section surface of the actuator is a square, a rectangle, or a polygon.

49. (new) A piezoceramic multilayer actuator according to claim 48, wherein an external electrode runs over one side surface or, in particular in the case of a polygonal cross-section, over several side surfaces.

50. (new) A piezoceramic multilayer actuator according to claim 39, wherein the actuator has a through borehole along its longitudinal axis.

51. (new) A piezoceramic multilayer actuator according to claim 39, wherein pocket holes are provided at its ends.

52. (new) A piezoceramic multilayer actuator according to claim 39, wherein the head region and in the foot region of the actuator the internal electrode spacing increases from electrode to electrode towards the respective end of the actuator.

53. (new) A piezoceramic multilayer actuator according to claim 39, wherein the actuator is a constituent part for the control of an injection valve.

54. (new) A method for the manufacture of a piezoceramic multilayer actuator according to claim 39, comprising the steps of positing several internal electrodes of the same polarity, with co-aligned contacting surfaces for the external electrode, in each instance on a green film made of a piezoceramic material, wherein the internal electrodes of the same polarity are positioned on the subsequent green film with the respective offset in each case generated by a predetermined angle  $\alpha$  to the position of the preceding electrode in order to obtain the offset of the contact surfaces wherein the corresponding internal electrodes of opposing polarity are located on the green films rotated through 180 degrees in each case, laying the green films of opposing polarity are then laid on top of one another to form a block, with the contact surfaces, and therefore the assigned inactive regions of one or of a predetermined number of electrodes of the same polarity, arranged above one another in the same direction, being arranged offset to one another by the predetermined angle  $\alpha$  opposite the contact surfaces, and therefore the assigned inactive regions of the preceding internal electrode or a predetermined number of preceding electrodes of the same alignment and same polarity, and wherein the actuators are then prepared from this block.

55. (new) A method for the manufacture of a multilayer actuator according to claim 54, wherein the processing for shaping a multilayer actuator in the green state is conducted prior to sintering.

56. (new) A method for the manufacture of a multilayer actuator according to claim 54, wherein the processing for shaping a multilayer actuator is carried out subsequent to sintering.

57. (new) A method for the manufacture of a multilayer actuator according to claim 54, wherein subsequent to the sintering of the actuator, the sinter skin is left on its surface, and only ground are the regions for exposing the electrodes, at which the contact surfaces of the internal electrodes are connected to the external electrode.



58. (new) A method for the manufacture of a piezoceramic multilayer actuator according to claim 40, comprising the steps of positing several internal electrodes of the same polarity, with co-aligned contacting surfaces for the external electrode, in each instance on a green film made of a piezoceramic material, wherein the internal electrodes of the same polarity are positioned on the subsequent green film with the respective offset in each case generated by a predetermined angle  $\alpha$  to the position of the preceding electrode in order to obtain the offset of the contact surfaces wherein the corresponding internal electrodes of opposing polarity are located on the green films rotated through 180 degrees in each case, laying the green films of opposing polarity are then laid on top of one another to form a block, with the contact surfaces, and therefore the assigned inactive regions of one or of a predetermined number of electrodes of the same polarity, arranged above one another in the same direction, being arranged offset to one another by the predetermined angle  $\alpha$  opposite the contact surfaces, and therefore the assigned inactive regions of the preceding internal electrode or a predetermined number of preceding electrodes of the same alignment and same polarity, and wherein the actuators are then prepared from this block.